

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 21720061152146

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

南海西部海域异养细菌若干生态特征的研究

Study on Ecological Characteristics of Heterotrophic Bacteria in
the western South China Sea

李志江

指导教师姓名: 郑天凌 教授

专 业 名 称: 微生物学

论文提交日期: 2009 年 5 月

论文答辩时间: 2009 年 6 月

学位授予日期: 2009 年 月

答辩委员会主席: 胡 忠 教授

评 阅 人: 李顺鹏 教授

池振明 教授

2009 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人:

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

- ☐ 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
- ☒ 2. 不保密，适用上述授权。

声明人：

年 月 日

摘 要	i
Abstract	ii
第一章 绪论	1
1.1 异养细菌在海洋碳循环中的作用	1
1.2 海洋异养细菌研究概况	4
1.2.1 细菌丰度和生物量的研究	5
1.2.2 细菌生产力和呼吸作用的研究	7
1.2.3 细菌胞外酶的研究	9
1.2.4 细菌群落结构和多样性的研究	10
1.2.5 细菌群落结构与功能的联系	13
1.3 南海海域海洋异养细菌的研究概况	15
1.4 对南海西部海域异养浮游细菌进行研究的意义	18
第二章 材料与方法	20
2.1 研究区域与样品采样	20
2.2 药品、试剂和仪器	21
2.3 主要试剂和溶液	22
2.4 方法	24
2.4.1 海水中细菌的计数	24
2.4.2 荧光模拟底物法测定胞外酶活性	25
2.4.3 细菌生产力的测定方法	26
2.4.4 暗培养实验中相关参数的测定	27
2.4.5 海水样中细菌基因组总 DNA 的提取	28
2.4.6 16S rDNA-V3 高变区的 PCR 扩增	28
2.4.7 变性梯度凝胶电泳(DGGE)及分析	29
2.4.8 主要软件	30
第三章 结果	31
3.1 南海西部海域冬季的温、盐特征和浮游细菌的生态特点	31
3.1.1 南海西部海域冬季的温、盐特征	31
3.1.2 南海西部海域冬季的 β -葡萄糖苷酶活性	31

3.1.3 南海西部海域冬季的细菌生产力·····	35
3.1.4 南海西部海域冬季各参数之间的相关性·····	36
3.2 南海西部海域夏季的温、盐特征和浮游细菌的生态特点 ·····	37
3.2.1 南海西部海域夏季的水文变化特征及采样时间的分布·····	37
3.2.2 南海西部海域夏季的细菌生物量·····	38
3.2.3 南海西部海域夏季的 β -葡萄糖苷酶活性·····	42
3.2.4 南海西部海域夏季的细菌生产力·····	49
3.2.5 南海西部海域夏季细菌分布和活性与环境因子的关系·····	50
3.3 TS1 站温、盐特征和浮游细菌的生态特点 ·····	51
3.3.1 TS1 站温盐的变化·····	52
3.3.2 TS1 站细菌生物量、 β -葡萄糖苷酶活性和细菌生产力的分布特点·····	52
3.3.3 TS1 站各参数之间的相关性分析·····	55
3.4 S1 站温、盐特征和浮游细菌的生态特点 ·····	58
3.4.1 S1 站温盐的变化·····	59
3.4.2 S1 站细菌生物量、 β -葡萄糖苷酶活性和细菌生产力的分布特点·····	59
3.4.3 S1 站各参数之间的相关性分析·····	62
3.5 微生物在暗培养条件下的变化 ·····	63
第四章 讨论 ·····	66
4.1 台风对冬季航次测定结果的影响·····	66
4.2 温度、盐度对细菌的影响·····	66
4.3 冬季、夏季南海西部海域的数据差异以及与 S1 站的对比·····	69
4.4 浮游植物和营养物质供应对细菌的影响·····	70
4.5 暗培养条件下微生物变化原因的初步探讨·····	71
第五章 总结与展望 ·····	73
5.1 主要研究结论·····	73
5.2 研究展望·····	73
参考文献 ·····	75
附 录 ·····	84
附录 1 攻硕期间参加的科研项目·····	84
附录 2 攻硕期间发表及待发表论文·····	84
致 谢 ·····	85

Contents

Chinese abstract	i
English abstract	ii
Chapter 1 Introduction	1
1.1 The role of heterotrophic bacteria in marine carbon cycles	1
1.2 General situation on marine heterotrophic bacteria study	4
1.2.1 Study on bacterial abundance and biomass	5
1.2.2 Study on bacterial production and respiration	7
1.2.3 Study on bacterial extracellular enzymes	9
1.2.4 Study on bacterial community structure and diversity	10
1.2.5 The relationship between bacterial community structure and its ecological function	13
1.3 General situation on marine heterotrophic bacteria in the South China Sea	15
1.4 The significance to study heterotrophic bacteria in the western South China Sea	18
Chapter 2 Materials and methods	20
2.1 Study region and sampling	20
2.2 Reagents and instruments	21
2.3 Main reagent solutions	22
2.4 Methods	24
2.4.1 Count of bacteria in seawater	24
2.4.2 Measurement of extracellular enzyme activity by using of FMS method	25
2.4.3 Measurement of bacterial production	26
2.4.4 Measurement of the parameters in dark culture experiment	27
2.4.5 Bacterial genome DNA extraction from seawater	28
2.4.6 PCR amplification of 16S rDNA-V3 fragment gene	28
2.4.7 DGGE and profile analysis	29
2.4.8 Main softwares	30
Chapter 3 Results	31
3.1 Temperature and salinity distribution characteristics and bacterial ecological characteristics in the western South China Sea in Winter cruise	31
3.1.1 Temperature and salinity distribution characteristics in Winter cruise	31
3.1.2 β -D-glucosidase activity in Winter cruise	31

3.1.3 Bacterial production in Winter cruise	35
3.1.4 Correlation analysis among the parameters in Winter cruise	36
3.2 Temperature and salinity distribution characteristics and bacterial ecological characteristics in the western South China Sea in Summer cruise	37
3.2.1 Hydrology characteristics and sampling time's distribution in Summer cruise	37
3.2.2 Bacterial biomass in Summer cruise	38
3.2.3 β -D-glucosidase activity in Summer cruise	42
3.2.4 Bacterial production in Summer cruise	49
3.2.5 The relationship between bacterial distribution, activity and related environmental parameters in the western South China Sea in Summer cruise	50
3.3 Temperature and salinity distribution characteristics and bacterial ecological characteristics at Station TS1 in Summer cruise	51
3.3.1 Variety of temperature and salinity	52
3.3.2 Distribution characteristics of bacterial biomass, β -D-glucosidase activity and bacterial production	52
3.3.3 Correlation analysis between the parameters at Station TS1	55
3.4 Temperature and salinity distribution characteristics and bacterial ecological characteristics at Station S1	58
3.4.1 Variety of temperature and salinity	59
3.4.2 Distribution characteristics of bacterial biomass, β -D-glucosidase activity and bacterial production S1	59
3.4.3 Correlation analysis between the parameters at Station S1	62
3.5 Changes of microorganisms in dark culture condition	63
Chapter 4 Discussion	66
4.1 The influence of typhoon on measurement results in Winter cruise	66
4.2 The influence of temperature and salinity on bacterial distribution	66
4.3 Comparison between Winter cruise and summer cruise and the comparison between the western South China Sea and Station S1	69
4.4 The influence of phytoplankton and nutrients supply	70
4.5 Preliminary study on why microorganisms changes in dark culture condition	71
Chapter 5 Conclusions and prospect	73
5.1 Main results	73
5.2 Prospect	73
References	75

Appendix	84
1 List of projects participated in	84
2 List of published and to publishing papers	84
Acknowledgments	85

厦门大学博硕士论文摘要库

摘 要

异养细菌在海洋环境中具有较高的丰度和活性,在海洋碳的生物地球化学循环过程中具有重要作用。细菌生物量、 β -葡萄糖苷酶活性和细菌生产力直接关系到细菌对海洋中有机碳的降解、吸收和转化。

2006 年冬季和 2007 年夏季,对南海西部海域的细菌生物量、细菌生产力和 β -葡萄糖苷酶活性等进行调查,以探明该海域异养细菌的生态特点及其在碳的海洋生物地球化学循环中的作用,取得如下主要结果:

(1) 在对南海西部海域 2006 年冬季和 2007 年夏季的调查中,冬季航次 150 m 以上水层的积分 β -葡萄糖苷酶活性变化范围为 $105.9401\sim 304.4797\text{ mg C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, 平均 $170.6968\pm 56.8148\text{ mg C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, 表层海水细菌生产力变化范围为 $0.0044\sim 0.0962\text{ mg C m}^{-3}\text{ h}^{-1}$, 平均 $0.0331\pm 0.0183\text{ mg C m}^{-3}\text{ h}^{-1}$; 夏季航次 150 m 以上水层积分细菌生物量的变化范围为 $1047.7\sim 2834.9\text{ mg C m}^{-2}$, 平均 $1767.1\pm 580.1\text{ mg C m}^{-2}$, 积分 β -葡萄糖苷酶活性变化范围为 $77.4286\sim 372.4286\text{ mg C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, 平均 $166.1355\pm 65.1035\text{ mg C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, 表层海水细菌生产力变化范围为 $0.0005\sim 0.2418\text{ mg C m}^{-3}\text{ h}^{-1}$, 平均 $0.0478\pm 0.0607\text{ mg C m}^{-3}\text{ h}^{-1}$ 。两个航次中细菌活性比较接近。

(2) 两个航次中均在南海西部海域发现上升流的存在,上升流对细菌活性具有深刻的影响,促进了周围区域 β -葡萄糖苷酶活性和细菌生产力的提高。细菌分布和活性受到温度一定程度的影响,但主要受到营养物质供应状况的调控。

(3) 南海北部 S1 站 150 m 以上水层积分细菌生物量变化范围为 $1397.0\sim 3209.9\text{ mg C m}^{-2}$, 平均 $2415.2\pm 988.3\text{ mg C m}^{-2}$, 积分 β -葡萄糖苷酶活性变化范围为 $82.5441\sim 125.3552\text{ mg C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, 平均 $101.5891\pm 43.9081\text{ mg C m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, 表层海水细菌生产力的变化范围为 $0.0028\sim 0.0315\text{ mg C m}^{-3}\text{ h}^{-1}$, 平均 $0.0103\pm 0.0054\text{ mg C m}^{-3}\text{ h}^{-1}$ 。尽管温盐条件非常接近,南海西部海域的细菌活性远高于南海北部 S1 站。异养细菌在南海西部海域碳的生物地球化学循环过程中具有重要作用。

(4) 通过黑袋实验观察暗培养条件下细菌活性和群落结构的变化,结果发现,细菌丰度、胞外酶活性和群落结构均在培养期间发生剧烈变化。这说明基于暗培养的呼吸测定技术存在很大的不确定性,不适合于作较长时间的培养。

关键词: 细菌生物量, 细菌生产力, β -葡萄糖苷酶活性, 南海海域, 生态特点

Abstract

The heterotrophic bacteria have a high abundance and activity in marine environments, and play an important role in marine carbon biogeochemical cycling. Bacterial biomass, β -D-glucosidase activity and bacterial production are major parameters of bacteria related to organic carbon degradation, assimilation and transformation.

To study the ecological characteristics of the heterotrophic bacteria and its role in marine carbon cycles in the western South China Sea, bacterial biomass, production capability, β -D-glucosidase activity and related environmental parameters were investigated in winter 2006 and summer 2007. The main results showed as below.

(1) In Winter, integrated β -D-glucosidase activity in the upper 150 m water ranged from 105.9401 to 304.4797 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$, and the average was $170.6968 \pm 56.8148 \text{ mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Bacterial production in the surface water ranged from 0.0044 to 0.0962 $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$, and the average was $0.0331 \pm 0.0183 \text{ mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$. Summer cruise, integrated bacterial biomass in the upper 150 m water ranged from 1047.7 to 2834.9 mg C m^{-2} , and the average was $1767.1 \pm 580.1 \text{ mg C m}^{-2}$. Integrated β -D-glucosidase activity in the upper 150 m water ranged from 77.4286 to 372.4286 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$, and the average was $166.1355 \pm 65.1035 \text{ mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Bacterial production in surface water ranged from 0.0005 to 0.2418 $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$, and the average was $0.0478 \pm 0.0607 \text{ mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$. Bacterial activity was colse in the two cruises.

(2) Upwelling was found both in the two cruises in the western South China Sea, and it had a great influence to bacterial activity. It facilitated the increasing of β -D-glucosidase activity and bacterial production in its round area. Bacterial distribution and activity were influenced by water temperature at some extent, however, they were regulated by nutrients supply mainly.

(3) At Station S1, integrated bacterial biomass in the upper 150 m water ranged from 1397.0 to 3209.9 mg C m^{-2} , and the average was $12415.2 \pm 988.3 \text{ mg C m}^{-2}$. Integrated β -D-glucosidase activity in the upper 150 m water varied from 82.5441 to 125.3552 $\text{mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$, and the average was $101.5891 \pm 43.9081 \text{ mg C m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Bacterial production in the surface water varied from 0.0028 to 0.0315 $\text{mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$, and the avarage was $0.0103 \pm 0.0054 \text{ mg C m}^{-3} \text{h}^{-1}$. Although tenperature and salinity condition at Staion S1 were very colose to that of the western South China

Sea, bacterial activity was far lower than that of the latter. Heterotrophic bacteria plays an important role in carbon biogeochemical cycles in the western South China Sea.

(4) The changes of bacterial activity and community structure were observed by a dark bag culture experiment. The results showed that bacterial abundance, extracellular enzyme activity and community structure all had sharp changing. It suggests that the respiration determining techniques with a dark culture process have a great uncertainty and they don't fit for long time culture.

Key Words: Bacterial biomass, Bacterial production, β -D-glucosidase activity, South China Sea, Ecological characteristics

第一章 绪论

1.1 异养细菌在海洋碳循环中的作用

海洋是地球上重要的碳库,其碳储量为大气的 50 倍^[1,2]。每年人类约排放 6 Gt(1 Gt=10⁹ 吨)CO₂,其中 1/3 被海洋吸收^[3]。CO₂和全球气候变化有着密切关系,因此海洋碳循环的研究已成为国际研究热点^[4]。溶解作用和光合作用是海洋固碳的基本途径,其中光合作用每年可固定 41~77 Gt 的碳,在海洋固碳作用中占主导地位^[5]。众多海洋生物所构成的生物泵的参与使得碳在海洋中的转化和迁移变得极其复杂^[6]。

异养细菌的下述特点使得其在海洋碳循环过程中发挥着重要作用。

首先,异养细菌具有极高的丰度和生物量,是海洋中重要的碳库。海洋中的细菌以异养细菌为主。真光层中细菌丰度通常高达 10⁸~10⁹ cells L⁻¹ 数量级,下限约 3×10⁸ cells L⁻¹,生物量在 6 μg C L⁻¹ 以上,在寡营养海水中细菌生物量通常可比浮游植物生物量高 2~3 倍^[7]。随海水深度的增加,各种光合自养生物急剧减少乃至消失,异养细菌仍可保持较高丰度,如在 4200 m 的深层海水中细菌丰度也可达 10⁷ cells L⁻¹ 数量级^[8]。它们可直接吸收或通过胞外酶降解溶解有机碳(Dissolved Organic Carbon, DOC),转化为自身生物量,实现 DOC 到 POC(颗粒有机碳, Partical Organic Carbon)的转化^[9]。在寡营养海区,细菌生物量通常可占总 POC 的 40%左右(26~62%)^[7]。因此,异养浮游细菌对碳的库存量和转化量是海洋碳循环研究的基本内容,许多国际研究项目如全球海洋通量联合研究计划(JGOFS),海岸带陆海相互作用研究(LOICZ),全球海洋生态系统动力学研究(GLOBEC),上层海洋—低层大气研究(SOLAS)等,均包含对异养浮游细菌的研究

^[10]。

其次,异养细菌是海洋环境中重要的生产者,在碳的形态转化中起着重要作用。浮游植物通过光合作用固定的碳有相当一部分作为胞外多聚物分泌到胞外。这些溶解性有机物(Dissolved Organic Matter, DOM)依靠异养细菌降解和吸收,实现二次生产。在细菌生产过程中,细菌将生物营养转化中遗失的DOM和POM(颗粒性有机物, Particulate Organic Matter)分解利用,合成自身颗粒有机物,经浮游动物摄食形成微食物环^[11],提高了海洋生态系统的生态效率。Ducklow(1993)统计认为,海洋细菌生产力通常相当于同海区初级生产力的10~80%,在个别海区

可达90%以上^[12]。对不同海区的统计结果表明, 这些海区真光层中细菌生产力(Bacterial Production, BP)可占初级生产力(Primary Production, PP)的5~92%, 总的平均值在15%左右(见表1.1)。之前也有研究者认为真光层中BP平均可占PP的25~35%^[13, 14]。

表1.1 若干海区细菌生产力及其与初级生产力的比值

Table 1.1 Bacterial production and its ratio compared with primary production in several sea areas

Areas*	BP (mg C m ⁻² d ⁻¹)	PP (mg C m ⁻² d ⁻¹)	BP:PP(%)	References
Eq-Pac.	124~125	588~835	15~21	Kirchman et al. (1995)
Eq-Pac.	180~240	1080~1560	12~22	Ducklow et al. (1995)
SEEP	55~75	NA	12~24	Kemp (1994)
NABE	321	1082	30	Ducklow et al. (1993)
NABE	80~207	1063~1140	8~18	Li et al. (1993)
WCR	54~214	315~691	9~46	Ducklow and Carlson (1992)
N. Pac.	41~65	529~816	5~12	Kirchman et al. (1995)
Indian	133~493	236~533	30~92	Ducklow and Carlson (1992)
Arabian	150~353	996~1457	15~26	Ducklow et al. (2001)

*Eq-Pac., the Equatorial Pacific; SEEP, the Middle Atlantic Bight of the eastern US continental shelf and slope; NABE, the North Atlantic Bloom Experiments; WCR, the Warm Core Ring of the north Atlantic; N. Pac., the North Pacific; Indian, the Indian Ocean; Arabian, the Arabian Sea.

我国研究者对渤海^[15]、胶州湾^[16]、东海^[17-21]、黄海^[21]、长江口冲淡水区^[22]、台湾海峡^[23]、厦门海域^[24, 25]、大亚湾^[26]、南海北部^[27]等海区的测定表明, BP平均可占PP的17~71%。由于通常细菌具有较高的呼吸活性, 生长效率(Bacterial Growth Efficiency, BGE)很低, 所以在许多海区细菌总的需碳量(Bacterial Carbon Demand, BCD)接近甚至大于PP。因此细菌生产力在海洋物质循环和能量流动中起着不可忽视的作用。

表1.2 我国近海细菌生产力及其与初级生产力的比值

Table 1.2 Bacterial production and its ratio compared with primary production
in adjacent sea of China

海区	采样时间	BP	BP:PP (%)	研究者
渤海	1998.9~10	表层 0.111 (0.076~0.159) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$, 真光层 125.5 (103.2~148.8) $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$	71 (41~97) (真光层)	肖天等
	1999.4~5	表层 0.140 (0.100~0.178) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$, 真光层 115.0 (88.9~169.8) $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$	38 (13~75) (真光层)	
胶州湾	1993	夏季 6.43 (2.69~15.40) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	22(2~58) (夏高冬低)	焦念志等
东海	1994.5~	0.22~13.9 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$,	22 (6~42)	Fuh-Kwo Shiah 等
	1996.4	真光层 138 \pm 77 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$		
东海	1997.2~3	0.46~2.34, 表层 1.17 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	17 (4~30)	肖天等
	1998.7	3.50~15.70, 表层 9.28 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	32 (21~43)	
长江口冲淡水区	1997.10	表层 1.44 (0.22~3.35) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	23	刘子琳等
台湾海峡	1998.5	表层 2.43 (0.56~4.41) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		郑天凌等
	1994. 8	0.968~2.560 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$		
	1995.2~4	0.21~5.18 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$		
	1997.8	0.089 (0.003~0.39) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		
厦门海域	1998.2~3	0.047 (0.002~0.16) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		郑天凌等
	2006.8	表层 0.097, 总 0.060 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		
	2006.11	表层 0.157, 总 0.122 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		
	2007.2	表层 0.076, 总 0.061 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		
大亚湾	2007.5	表层 0.300, 总 0.256 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		彭安国等
	2000.4	表层 13.63 (5.04~30.2) 总 11.17 (0.50~30.20) $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		
南海北部	2004.2~3	真光层 65.1 \pm 42.8 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 表层 0.08 \pm 0.09 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	26 (4~96) (真光层)	宁修仁等
	2004.8~9	真光层 52.5 \pm 28.6 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$, 表层 0.08 \pm 0.03 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$		
珠江口	2004.2~3	表层 0.37 \pm 0.47 $\mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	5 \pm 9 (表层)	

南海北部	2006.11~12	表层 $0.054(0.017\sim0.116) \mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	郑天凌等
吕宋冷涡	2006.12	表层 $0.030(0.012\sim0.070) \mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	
南海西部	2006.12	表层 $0.033 \pm 0.0183 \mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	
	2007.8~9	表层 $0.048 \pm 0.0607 \mu\text{g C L}^{-1} \text{h}^{-1}$	

此外, 异养细菌是海洋环境中最重要的分解者和呼吸作用的主体, 对碳的循环、再生起着重要作用。异养细菌在海水中的数量远高于真菌^[28-30]。异养细菌广泛分布于水体和沉积物中, 粒径大于细菌的各种生物体表、生物碎片甚至体内均有为数众多的异养细菌存在^[31, 32]。异养细菌通过分泌胞外酶可分解、利用海洋中的各种有机物^[33], 甚至可降解环境中的各种有害物质如多环芳烃等^[34]。异养细菌所利用的 DOM 大部分用于呼吸作用, 使得 BGE (BGE=BP/BP+BR, BR: Bacterial Respiration)通常很低。BGE 近年来的估计值为 0.1~0.25, Del Giorgio 和 Cole(2000)认为在大洋中 BGE 平均只有 0.15^[35]。对全球 1662 份数据的统计表明, 海洋中细菌呼吸可占总呼吸作用的 12%~59%^[36]。在某些海区细菌呼吸甚至可占总呼吸作用的 50~90%以上, 接近甚至超过初级生产力^[37]。细菌对有机物的分解使营养盐和 CO₂ 得以再生, 为生产者提供源源不断的原料, 维持了生态系统的相对平衡^[38]。

1.2 海洋异养细菌研究概况

国际上对海洋细菌的研究始于19世纪。1838年德国人Ehrenberg首次分离并报道描述了第一株海洋细菌——折叠螺旋体(*spirochaeta plicatilis*)。1914年前苏联科学家Issatchnko出版了第一部海洋细菌学专著《北冰洋细菌的研究》(Investigation on the Bacteria of the Glacial Arctic Ocean)。1939年版的《伯杰氏细菌鉴定手册》(Bergey's Manual of Determinative Bacteriology)中1 335种细菌中有86种细菌是从海洋中分离出来的^[39]。Zobell对海洋微生物作了大量研究工作, 基本确立海洋微生物学的研究方法。Kriss(1959)又发表了有关深海微生物学的著作^[40]。1974年, Pomeroy提出了微型食物网的概念, 并运用大量的数据资料揭示了异养微生物在溶解和颗粒有机物消耗方面起着重要的作用^[41], 但并未引起人们的广泛关注。由于最初对海洋浮游细菌的认识是基于培养技术, 而海洋中仅有0.01~0.1%的微生物是可培养的^[42]。因此, 海洋细菌的丰度和在海洋生

态系统中的作用被严重低估。

人类对自然界的认识常常要依赖于研究手段的改进。海洋微生物研究技术在20世纪七、八十年代之后得到了长足的发展,如对细菌丰度、生物量、生产力、胞外酶活性、群落结构等研究技术的突破,使人们对异养细菌在海洋生态系统中的地位和海洋碳循环中的作用被重新认识。

1.2.1 细菌丰度和生物量的研究

1976年, Hobbie采用吖啶橙(Acriding Orang, AO)对海洋细菌染色并借助于表面荧光显微镜发现, 近海浮游细菌的丰度高达 $6.3 \times 10^9 \text{ cells L}^{-1}$, 4200 m 的深层海水中也高达 $3.4 \times 10^7 \text{ cells L}^{-1}$ ^[8]。该方法和结果引起海洋科学家的极大兴趣, 使人们对浮游细菌在海洋中的作用被重新认识。1980年 Porter 和 Feig 对该方法进行改进, 采用 DAPI(4',6-diamidino-2-phenylindole)代替 AO 染色, 使得背景更清晰, 染色效果更加专一^[43]。1983年, Yentsch 将流式细胞仪用于微型生物自然群落结构研究^[44], 之后该技术在微型浮游生物生态学调查中迅速得到广泛应用, 并在 90 年代被我国学者采用^[45]。

目前表面荧光显微镜计数和流式细胞术是目前研究细菌丰度最为常用的技术。表面荧光显微镜计数法的优点是操作简便、经济实用, 是实验室异养细菌研究的常规方法之一。但是在海洋细菌的研究中, 由于原绿球藻等的存在, 在一定程度上会高估异养细菌的丰度。赵三军和肖天等 2000 年秋季在黄、东海的调查中发现, 在近岸及中陆架区(富营养、中营养海区)原绿球藻的丰度比异养细菌低两个数量级, 对计数结果的影响较小, 误差可忽略。而在陆坡(寡营养海区)原绿球藻的丰度比异养细菌的丰度之低约一个数量级, 此时误差会增大^[46]。焦念志等(2001)在东海和南海部分站位的研究则发现, 原绿球藻通常可占二者计数结果的 10~25%, 可占二者生物量总和的 6.9~35.6%^[47]。流式细胞仪通过 SYBR Green I 等荧光染料染色可区分异养细菌、原绿球藻、聚球藻和超微型真核生物等不同的类群并分别计数, 且操作简便、数据可靠性强, 该仪器对样品的分析需要标准样品进行校正, 仪器的操作需要丰富的经验, 其仪器和染料的价格均非常昂贵, 不适合于普通实验室使用。

细菌生物量(Bacterial Biomass, Bb)直接测定工作量极为繁重, 故常用细菌丰度来估计细菌生物量。Lee 发现发现碳转化因子对于小的海洋细菌来说含碳量

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库